

## Quadro sinottico degli impatti dei cambiamenti climatici sulla regione Lombardia

Giulia Fiorese, Danièle Bevacqua, Luca Bolzoni, Marino Gatto, Giulio  
Alessandro de Leo

► **To cite this version:**

Giulia Fiorese, Danièle Bevacqua, Luca Bolzoni, Marino Gatto, Giulio Alessandro de Leo. Quadro sinottico degli impatti dei cambiamenti climatici sulla regione Lombardia. 15. Congresso Società Italiana Ecologia, Società Italiana di Ecologia. ITA., Sep 2005, Turin, Italy. hal-02763067

**HAL Id: hal-02763067**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02763067>**

Submitted on 4 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Quadro sinottico degli impatti dei cambiamenti climatici sulla regione Lombardia

Giulia Fiorese<sup>a,b,\*</sup>, Daniele Bevacqua<sup>b</sup>, Luca Bolzoni<sup>b</sup>, Marino Gatto<sup>a</sup>, Giulio De Leo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano, Via Ponzio 34/5, 20133 Milano, Italia

<sup>b</sup>Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi di Parma, Parco Area delle Scienze, 43100 Parma, Italia

### Abstract

I cambiamenti climatici potrebbero comportare gravi effetti sulle risorse idriche, sulla salute umana, sugli ecosistemi e sull'agricoltura nella regione Lombardia. È quindi utile predisporre preventivamente un quadro sinottico per una visione di insieme delle possibili ricadute dei cambiamenti climatici a livello locale, considerando sia gli impatti diretti dovuti alle forzanti climatiche (aumento dei gas serra, variazione della temperatura e del regime delle precipitazioni), sia gli impatti indiretti. Il quadro sinottico è organizzato in modo tale da rappresentare la rete degli impatti secondo una logica di causa ed effetto, evidenziando le interazioni tra gli elementi coinvolti, per i seguenti macro-settori: variabili meteo-climatiche, risorse idriche, eventi estremi, ecosistemi terrestri, suolo, ecosistemi acquatici, salute umana, agricoltura, infrastrutture. Ogni macro-settore è a sua volta suddiviso in comparti che descrivono dettagliatamente gli impatti diretti o indiretti specificando il tempo di risposta, le evidenze di cambiamenti già in atto, le aree o i settori vulnerabili della Lombardia e, infine, i commenti per i *decision maker*. Scopo principale è rendere fruibile il quadro sinottico soprattutto ai decisori, evidenziando in modo sintetico, ma esaustivo, le vulnerabilità della regione e le eventuali lacune informative, fornendo spunti di discussione e approfondimento e punti di partenza per l'identificazione di politiche adattative e mitigative. © 2005 SIIE. All rights reserved

**Keywords:** cambiamenti climatici globali; impatti locali; rete degli impatti; infrastrutture; ecosistemi; salute umana; agricoltura; regione Lombardia.

### 1. Introduzione

La comunità scientifica internazionale, raccolta nell'International Panel on Climate Change (IPCC), è concorde nell'affermare che i cambiamenti climatici globali (CCG) siano inevitabili. Tutti i modelli climatici attualmente disponibili prevedono un aumento della temperatura dovuto all'innalzamento della concentrazione atmosferica dei cosiddetti gas serra. Con i cambiamenti del clima si produrranno

effetti ed impatti di varia entità, alcuni dei quali potranno essere benefici, mentre altri saranno negativi e addirittura irreversibili. Numerosi effetti dei cambiamenti climatici sono già osservabili attraverso lo studio delle *fingerprints*: spostamento degli areali di distribuzione o della tempistica degli eventi fenologici delle specie vegetali e animali (Root *et al.*, 2003; Walther *et al.*, 2002; Parmesan *et al.*, 1999; Grabherr *et al.*, 1994), aumento dei danni economici attribuibili ad eventi meteo-climatici estremi (Munich Re, 2000). Lo studio degli impatti dei cambiamenti climatici coinvolge numerosi settori:

\* Corresponding author. Tel.: +39-02-2399-9630; fax: +39-02-2399-9611; e-mail: fiorese@elet.polimi.it.

dalla salute umana (Patz *et al.*, 2005; Harvell *et al.*, 2002), alla disponibilità futura di risorse (Barnett *et al.*, 2005; Foley *et al.*, 2005), allo stato degli ecosistemi (Walther, 2003; Schröter *et al.*, 2005) fino a vari aspetti del tessuto socioeconomico del paese (Milly *et al.*, 2002). È necessario individuare i sistemi ambientali, sociali ed economici più vulnerabili ai cambiamenti climatici per poter intraprendere politiche adatte alla loro tutela.

Coloro che governano il territorio hanno bisogno di strumenti attraverso i quali conoscere i possibili impatti dei cambiamenti climatici a livello locale. Bisogna però considerare che, come descritto più avanti, lo studio degli impatti dei CCG è particolarmente complesso e che tale complessità aumenta con il dettaglio, temporale e spaziale, richiesto dall'analisi.

Il progetto Kyoto Lombardia, nell'ambito del quale è stato elaborato il quadro sinottico, è stato promosso con l'intento di evidenziare gli impatti dei CCG a scala regionale (Regione Lombardia). A tal fine è stata sviluppata una rete causa-effetto dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici sulla regione Lombardia, attraverso le valutazioni delle tendenze future, in relazione alla sensibilità dei sistemi ambientali e socioeconomici ed alle capacità di adattamento di tali sistemi alle variazioni climatiche.

## 2. Studi degli impatti regionali dei CCG

Analisi degli impatti a livello regionale dei cambiamenti climatici globali sono state elaborate negli anni passati in diverse regioni degli Stati Uniti e in diversi contesti istituzionali. Il Climate Action Report (EPA, 2002), riassume le evidenze degli impatti dei cambiamenti climatici sugli Stati Uniti e le azioni che andrebbero intraprese per fronteggiare tali cambiamenti. Si tratta di uno studio commissionato dal governo degli Stati Uniti allo scopo di proporre metodologie per la stabilizzazione della concentrazione atmosferica dei gas serra, favorire l'utilizzo di strumenti flessibili e incentivi di tipo economico, sostenere la crescita economica del Paese, incentivare l'utilizzo di nuove tecnologie e promuovere la partecipazione globale. Il report *Confronting Climate Change in the Great Lakes*

*Region: Impacts on Our Communities and Ecosystems*, redatto dall'Ecological Society of America e dall'Union of Concerned Scientists (Kling *et al.*, 2003) rappresenta il risultato di due anni di ricerca di numerosi scienziati delle università del Minnesota, del Wisconsin, dell'Illinois e del Michigan oltre che di altri istituzioni canadesi e statunitensi. Per l'Europa è stato recentemente pubblicato il rapporto *Impacts of Europe's Changing Climate* (EEA, 2004) la cui redazione è stata curata dall'European Topic Centre for Air and Climate Change (ETC/ACC). Il nostro studio si differenzia dai precedenti, in quanto considera un'area geografica molto più ristretta e mette in risalto le relazioni di causa-effetto tra i diversi impatti, diretti ed indiretti, legati ai CCG.

## 3. Difficoltà della valutazione degli impatti

Nel momento in cui un decisore politico deve affrontare la problematica dei CCG e proporre eventuali azioni di mitigazione o adattamento, si pone ragionevolmente le seguenti domande (European Commission, 2005):

- Quale legame esiste tra la concentrazione atmosferica di gas serra e l'aumento della temperatura, ovvero di quanto è necessario diminuire le emissioni di gas serra per evitare cambiamenti climatici pericolosi?
- Quali sono gli impatti attesi dovuti ai cambiamenti climatici globali?

Rispondere a simili domande è però molto complesso a causa sia dell'elevata incertezza sulla fisica dei fenomeni coinvolti sia della mancanza di informazioni sugli scenari futuri a livello globale e locale.

### 3.1. Incertezza

I cambiamenti climatici sono associati a un'elevata incertezza (figura 1) che riguarda prima di tutto le emissioni di gas climalteranti, quindi la risposta dovuta al ciclo del carbonio e al sistema climatico globale e, infine, gli impatti (Schneider, 2002). Per studiare gli impatti dei CCG non si può prescindere da ipotesi su scenari socio-economici futuri, per questo motivo si dovrebbe assegnare una

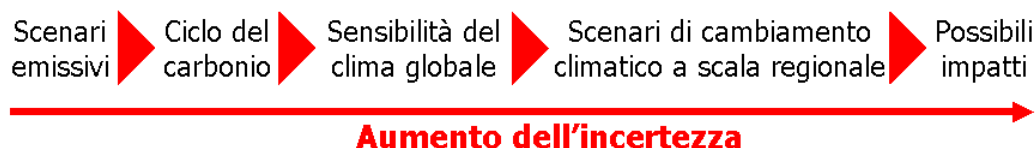


Figura 1: Cascata delle incertezze per la valutazione degli impatti locali dei cambiamenti climatici globali (adattato da Schneider, 2002).

probabilità di accadimento a tutti quei fattori che influenzano le emissioni antropiche di gas serra, tra cui l'aumento della popolazione globale, il livello della crescita economica, lo sviluppo e la diffusione di nuove tecnologie. Allo stesso tempo, bisogna anche considerare le incertezze e i *gap* di conoscenza legati al ciclo del carbonio, alla sua modellizzazione e al suo legame con il clima (Reichstein *et al.*, 2005).

È evidente che la stima di questa probabilità composta dipende fortemente dal grado di conoscenza e dal progresso della ricerca scientifica nel vasto settore dei cambiamenti climatici. Ad oggi, non è possibile effettuare valutazioni di questo tipo. Il report dell'IPCC (2000) descrive i cambiamenti climatici futuri utilizzando famiglie di scenari, detti SRES, che partono da differenti presupposti riguardo a popolazione, crescita economica, tecnologia. Allo stesso tempo, l'IPCC afferma chiaramente di non essere in grado di assegnare una maggiore o minore probabilità di accadimento all'uno o all'altro di questi scenari.

### 3.2. Downscaling

Gli scenari futuri di emissione e i modelli di cambiamento climatico sono stati finora sviluppati a livello globale (IPCC, 2001), mentre le politiche di adattamento e mitigazione devono, nella gran parte dei casi, essere elaborate e applicate a livello locale. Il modello HadCM3 dell'Hadley Center (Gordon *et al.*, 2000), che rappresenta attualmente uno tra i più dettagliati modelli di circolazione oceanica e atmosferica, divide la superficie terrestre in una griglia di 96x73 celle (con dimensioni di circa 300x300 km) e in ognuna di esse studia l'andamento delle variabili meteorologiche. Il clima a scala locale o regionale è generalmente molto più variabile rispetto alla scala emisferica o globale: in quest'ultimo caso, infatti, variazioni contrastanti che avvengono in regioni differenti si smorzano

vicendevolmente rendendo il clima più prevedibile. Fino ad ora le proiezioni dei cambiamenti climatici su scala regionale sono state molto limitate, sia per la complessità dei fenomeni fisici che influenzano i climi regionali, sia per i limiti dei modelli finora utilizzati.

### 3.3. Quali saranno gli effetti in regione Lombardia?

Data la complessità dei fenomeni in atto, la vastità dei processi coinvolti e le incertezze associate ai cambiamenti climatici, il quadro sinottico degli effetti dei cambiamenti climatici sulla regione Lombardia è stato realizzato sulla base di un'attenta analisi di *review* della letteratura scientifica. Mentre risulta complesso definire le probabilità di accadimento di tutti gli impatti attesi sulla regione Lombardia, è invece possibile individuare gli effetti diretti ed indiretti dei cambiamenti climatici che, sulla base di quanto studiato in altre aree della Terra, possono verificarsi.

## 4. Il quadro sinottico

Sapere quali impatti ci si può attendere contribuisce all'individuazione di quei comparti del patrimonio ecologico, del capitale umano e delle capacità produttive della Regione che necessitano di salvaguardia. Il quadro sinottico è stato concepito per fornire una visione di insieme degli impatti attesi dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali e semi-naturali, sulle infrastrutture, sulla salute umana e sui settori socio-economici della regione Lombardia.

#### 4.1. Settori e comparti considerati

La rete degli impatti è stata realizzata mediante schede descrittive (si veda tabella 1), ciascuna delle quali individua un fenomeno o un settore specifico, al quale corrisponde un nodo della rete e riporta esplicitamente i collegamenti con altri nodi (schede/fenomeni) che rappresentano le relazioni di causa o effetto coinvolte, alle quali corrispondono gli archi della nostra rete. Scopo delle schede è organizzare gli effetti dei CCG secondo gli impatti previsti nei diversi macro-settori presi in considerazione. I macro-settori sono, a loro volta, suddivisi in comparti (che possono riguardare aspetti naturali e socio-economici) che subiscono direttamente o indirettamente gli impatti dei cambiamenti climatici. I settori/comparti presi in considerazione sono riassunti nelle tabelle 2 (variabili meteo-climatiche, risorse idriche ed eventi estremi), 3

(società ed economia) e 4 (suolo, ecosistemi terrestri e acquatici); a ognuno di essi corrisponde una scheda, per un totale di 82.

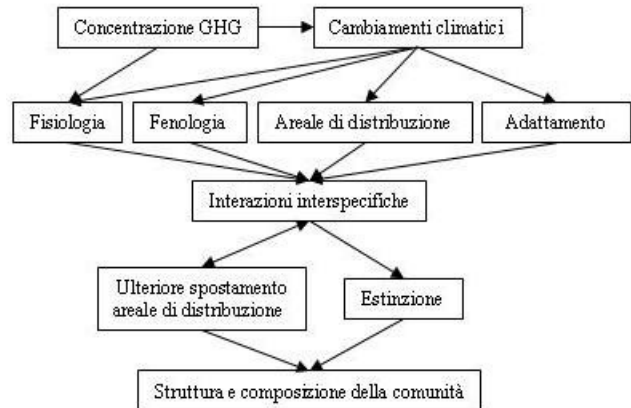


Figura 2: Esempio di rete degli impatti su ecosistemi naturali .

Tabella 1

Esempio di scheda per la descrizione degli impatti dei CCG.

| Scheda (Codice)                    | Titolo della scheda  |
|------------------------------------|--|
| Macro-settore                      | Forzanti esterne; Variabili meteo-climatiche; Risorse idriche; Eventi estremi; Ecosistemi terrestri; Suolo; Ecosistemi acquatici; Salute umana; Agricoltura; Società ed economia |
| Fenomeno/settore                   | Descrizione del fenomeno o del settore   |
| Influenzato da (previous)          | Fenomeno o settore che influenza il fenomeno o settore in esame  |
| Influenza (next)                   | Fenomeno o settore influenzato dal fenomeno o settore in esame   |
| Variabili misurabili               | Indicatori per la misura dei cambiamenti in atto   |
| Tempo di risposta                  | Breve, medio o lungo periodo   |
| Lombardia                          | Montagna, collina, pianura, zone rivierasche, zone umide, aree protette, aree particolarmente vulnerabile  |
| Evidenze, trend passati e futuri   | Evidenze di cambiamenti già in atto, previsioni future   |
| Commento per <i>decision maker</i> | Possibili strategie, politiche mitigative e adattative, particolari incertezze, conseguenze socio-economiche   |

#### 4.2. Struttura in schede del quadro sinottico

Il quadro sinottico è una visione d'insieme dei possibili impatti dei cambiamenti climatici; per essere funzionale, deve essere sintetico e aggiornato allo stato dell'arte delle conoscenze scientifiche e delle osservazioni collegabili ai cambiamenti climatici. Poiché è stato realizzato specificatamente per la regione Lombardia, il quadro sinottico prende in

considerazione le sole *driving forces* che possono avere impatti sulla regione (ad esempio, non è stato considerato l'innalzamento del livello del mare); inoltre è stata approfondita l'indagine su alcuni comparti particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici, come ad esempio gli ambienti alpini. Particolare attenzione è stata rivolta al sistema delle aree protette che, in Lombardia, comprende 26 parchi regionali, 22 parchi di interesse sovra-comunale, 58 riserve naturali e 25 monumenti naturali.

Tabella 2

Forzante esterna e settori/comparti considerati per l'individuazione degli impatti dei cambiamenti climatici su variabili climatiche, risorse idriche ed eventi estremi in regione Lombardia.

|                      |   |
|----------------------|---|
| Forzanti esterne     | Aumento della concentrazione atmosferica di gas serra   |
| Variabili climatiche | Variazione del regime delle temperature<br>Variazione del regime delle precipitazioni<br>Variazione della copertura nuvolosa                  |
| Risorse idriche      | Ghiacciai<br>Copertura nevosa<br>Fiumi<br>Laghi<br>Evaporazione e traspirazione<br>Acque di falda<br>Umidità del suolo<br>Qualità delle acque |
| Eventi estremi       | Alluvioni<br>Siccità<br>Frane e smottamenti<br>Valanghe<br>Incendi  |

Tabella 3

Settori/comparti considerati per l'individuazione degli impatti dei cambiamenti climatici su società ed economia in regione Lombardia.

|                     |   |
|---------------------|---|
| Società ed economia | Infrastrutture<br>Energia<br>Trasporti<br>Turismo<br>Risorse naturali<br>Settore assicurativo<br>Demografia e flussi migratori<br>Salute umana<br>Agricoltura |
|---------------------|---|

Al fine di schematizzare e rendere esplicite le relazioni di causa-effetto all'interno della catena degli impatti, oltre alla descrizione dell'impatto stesso, è stato messo in evidenza il fenomeno che lo ha generato e le conseguenze che questo può comportare

Tabella 4

Settori/comparti considerati per l'individuazione degli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi terrestri e acquatici e sul suolo in regione Lombardia; ad esempio, "Flora - effetti sull'individuo" è suddiviso in 5 schede.

|                      |  |
|----------------------|--|
| Ecosistemi terrestri | Fertilizzazione carbonica<br>Flora – effetti sull'individuo (fenologia, disponibilità e utilizzo di risorse limitanti, modifica rapporto C:N, produzione primaria, crescita della biomassa individuale)<br>Flora –effetti sulla popolazione (parametri demografici, spostamento dell'areale di distribuzione)<br>Fauna – effetti sull'individuo (fenologia, crescita della biomassa individuale)<br>Fauna – effetti sulla popolazione (parametri demografici, spostamento dell'areale di distribuzione)<br>Effetti sulla comunità e sull'ecosistema (interazione tra le specie, biodiversità, struttura e funzionamento dell'ecosistema, invasione di specie alloctone, adattamento ed evoluzione, vettori di malattie ed agenti infestanti) |
| Suolo                | Stato generale del suolo<br>Ciclo bio-geochimico del carbonio<br>Altri cicli bio-geochimici<br>Decomposizione  |
| Ecosistemi acquatici | Flora (disponibilità e utilizzo di risorse limitanti, parametri demografici)<br>Fauna (parametri demografici, spostamento dell'areale di distribuzione)<br>Effetti sulla comunità e sull'ecosistema (biodiversità, struttura e funzionamento dell'ecosistema, invasione di specie alloctone, adattamento ed evoluzione)<br>Deflusso minimo vitale  |

in altri settori. In particolare i due campi "Influenzato da" e "Influenza" descrivono la posizione del comparto all'interno della catena.

Spesso gli effetti dei cambiamenti climatici possono essere misurati attraverso un set di indicatori. Grazie a misure di questo genere, esistono

già oggi delle evidenze oggettive che mostrano che effetti dei cambiamenti climatici sono già visibili e in atto. Questi indicatori permettono di studiare e documentare con metodo scientifico lo stato di un sistema, ed eventualmente di misurare gli stress cui è sottoposto. Un campo all'interno della scheda è quindi dedicato all'identificazione delle variabili che possono essere misurate per monitorare lo stato del comparto.

Nell'analisi degli impatti dei cambiamenti climatici vi può essere un'incertezza tale da non permettere di sapere quale sarà l'entità, o addirittura la direzione, del cambiamento nel valore delle variabili indicatrici del fenomeno. In questi casi sono state prese in considerazione le diverse tipologie di impatto e l'intensità con cui si potranno presentare. Poiché a seconda della direzione della variazione, anche gli impatti potranno avere conseguenze differenti, abbiamo ritenuto importante esplicitare le lacune nella conoscenza dei processi messi in atto dai cambiamenti climatici. In questo modo risulterà evidente ai *decision maker* il grado di incertezza col quale si trovano a operare.

Nella scheda si riporta, inoltre, un'indicazione sui tempi di risposta del sistema agli impatti dei cambiamenti climatici cui è sottoposto. In particolare, ci si può chiedere se gli effetti dei cambiamenti climatici saranno evidenti sul breve o sul lungo periodo e, quindi, se il sistema sia in grado di adattarsi ai mutamenti o meno. Informazioni come questa risultano importanti nel momento in cui si desidera individuare delle priorità di intervento e progettare politiche di salvaguardia del patrimonio naturale della Regione. È quindi utile fornire una scala temporale per avere un ordine di grandezza del tempo di risposta del fenomeno analizzato alle pressioni imposte dai cambiamenti climatici. A tale proposito va notato che il tempo di risposta complessivo (che è quello che è riportato nelle schede) è il risultato della somma del tempo di risposta delle variabili meteo-climatiche all'aumento della concentrazione di gas serra e del tempo di risposta del fenomeno stesso alle variazioni meteorologiche. Prendendo come riferimento un ecosistema naturale, la scala temporale può variare dai mesi, come avviene per l'attività microbica nel suolo, all'anno, ad esempio per il flusso di carbonio negli ecosistemi, alle decine di anni, ad esempio per

quanto riguarda i cambiamenti sulla struttura di una popolazione, alle centinaia e migliaia di anni, come nel caso dell'adattamento evolutivo di singole specie o associazioni vegetali (Huntley e Baxter, 2003). Se a un singolo comparto possono essere associati diversi tempi di risposta, allora quello più lungo rappresenterà il tempo necessario perché il sistema si adatti alle nuove condizioni ambientali. Ad esempio: il tempo di risposta delle portate fluviali a una variazione degli afflussi meteorici è dell'ordine di pochi giorni, ma il tempo necessario perché il regime degli afflussi si adegui alla variazione dei gas serra è dell'ordine dei decenni. Quindi possiamo dire che, in questo caso, il tempo di risposta relativo al comparto è dell'ordine dei decenni. Con un ragionamento analogo, possiamo stimare che il tempo di risposta della vegetazione arborea ai cambiamenti climatici possa essere dell'ordine dei secoli.

Dalla descrizione dell'impatto considerato all'interno della scheda si passa quindi all'individuazione di quelle aree della regione Lombardia che possono essere interessate dal fenomeno. Il legame con il territorio è da tenere in considerazione soprattutto nel momento in cui si vogliono formulare delle politiche mitigative e/o adattative. Gli effetti dei cambiamenti climatici possono essere diversi, per tipologia e intensità, a seconda della regione considerata, poiché dipendono fortemente dalle caratteristiche naturali, ma anche dello sviluppo socio-economico, del luogo preso in considerazione. In particolare, è possibile distinguere in regione Lombardia aree con caratteristiche relativamente omogenee come: montagna, collina o pianura, oppure aree umide o fluviali, oppure ancora aree urbanizzate, industriali, naturali o semi-naturali; questa suddivisione serve per porre l'attenzione dei *decision maker* sulle aree più vulnerabili.

Infine, in ogni scheda è predisposto uno spazio per eventuali commenti rivolti ai *decision maker*. In particolare, si intendono riportare osservazioni e suggerimenti per le strategie di adattamento e/o mitigazione già in atto o che possono essere adottate. In questo spazio sono inoltre sottolineate le interazioni tra le pressioni dovute ai CCG le pressioni antropiche che influiscono su un determinato ambiente, come ad esempio il cambiamento di uso del suolo, l'inquinamento idrico e atmosferico o l'introduzione di specie esotiche. Considerare le

pressioni antropiche è importante, non solo perché la loro interazione rende maggiormente vulnerabili i sistemi, ma anche perché si possono formulare delle politiche di mitigazione che intervengano in modo sinergico su più aspetti.

## 5. Vulnerabilità della regione Lombardia

Gli impatti diretti dei cambiamenti climatici in Lombardia sono riconducibili in modo particolare all'aumento di frequenza dei fenomeni estremi, segnatamente temperatura e precipitazioni, con effetti che andranno a sovrapporsi e a interagire pericolosamente con elementi strutturali caratteristici del sistema socio-economico e naturale lombardo, quali l'invecchiamento della popolazione, il dissesto idrogeologico, la crescita della domanda energetica, la produzione agricola, la biodiversità e la rete delle aree naturali protette della regione Lombardia.

I cambiamenti climatici avranno un impatto diretto sul ritiro, evidente già da alcuni decenni, dei ghiacciai nelle zone montane della Regione e determineranno in media una diminuzione della copertura nevosa durante la stagione invernale. Questi fenomeni influenzeranno a loro volta il regime idrico durante il periodo di scioglimento delle nevi e potranno determinare una riduzione dell'invaso dei bacini e della ricarica delle falde.

Lo stress termico legato alle ondate di calore e quello idrico conseguente ad una diminuzione delle precipitazioni nel periodo estivo potranno ripercuotersi negativamente sulla produzione agricola, in particolare in quelle zone già caratterizzate tradizionalmente da deficit idrico nel periodo estivo, come ad esempio la bassa padana. Le colture di mais e orticoli saranno verosimilmente quelle più colpite dai cambiamenti climatici.

Non meno rilevanti saranno gli impatti sulla componente naturale, in particolare sulla struttura e il funzionamento degli ecosistemi terrestri, sulla fisiologia e fenologia delle specie vegetali e animali, sulla localizzazione degli areali di distribuzione delle specie. In questo ambito, oltre all'evidente impatto negativo generato dall'aumento di frequenza degli eventi estremi (ondate di calore, siccità, precipitazioni intense), giocano un ruolo fondamentale anche le variazioni piccole ma continue

e progressive della temperatura capaci di influenzare il ciclo biologico di molte specie animali e vegetali. Le aree naturali più vulnerabili della regione Lombardia saranno quelle tendenzialmente isolate, localizzate in particolare in zone montane. Infatti un aumento della temperatura provocherà una riduzione degli habitat adatti alla sopravvivenza delle specie alpine e caratterizzati da condizioni estreme. Questo fenomeno interesserà del resto anche gli ambienti naturali collinari e di pianura a causa dell'elevato livello di frammentazione degli habitat.

Impatti diretti e indiretti si potranno verificare anche sugli ecosistemi acquatici a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua e alla possibile riduzione delle portate dei torrenti nel periodo estivo. Le specie ittiche saranno particolarmente vulnerabili in quanto lo spostamento degli individui è ostacolato dalla presenza di numerose barriere di origine antropica che interrompono e dividono i corsi d'acqua.

## 6. Conclusioni

Gli ambiti toccati dai cambiamenti climatici sono molto ampi. Per quanto la scheda riportata in tabella 1 cerchi di essere esaustiva nella descrizione degli impatti, alcuni temi al momento restano, per quanto importanti, marginali. Ad esempio, un aspetto particolarmente importante è quello legato alla quantificazione dei costi degli impatti dei cambiamenti climatici e delle politiche di mitigazione o di adattamento. Se da una parte risultano quantificabili in termini monetari i danni diretti causati da episodi di esondazione dei corsi d'acqua dovuti alle variazioni del regime idrologico, dall'altra esistono casi per i quali la monetizzazione risulta più complessa, tipicamente quando i beni coinvolti non hanno valore di mercato; due esempi possono essere la valutazione del costo dovuto all'aumento dei morti in seguito a un'ondata di calore e all'estinzione di una specie vegetale o animale. Un'analisi economica, anche se parziale, dovrebbe quindi tenere conto anche dei costi sociali ed ambientali la cui monetizzazione può risultare estremamente difficoltosa (Costanza *et al.*, 1997; Balmford *et al.*, 2002).

Ambizione del quadro sinottico è riportare in modo sintetico, ma quanto più possibile completo e chiaro, gli effetti diretti e indiretti dei cambiamenti



climatici; per raggiungere questo scopo è necessaria l'interazione tra persone con conoscenze scientifiche differenti che possano contribuire all'affinamento del prodotto finale. Si cercherà quindi il confronto con le diverse competenze specifiche (in particolare all'interno del progetto Kyoto Lombardia) per la discussione e l'approfondimento dei vari ambiti indagati nel quadro sinottico.

## Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto di ricerca *Kyoto Lombardia: ricerca sui cambiamenti climatici e il controllo dei gas serra in Lombardia* ([www.flanet.org/ricerca/kyoto.asp](http://www.flanet.org/ricerca/kyoto.asp)), finanziato dalla Regione Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, ARPA Lombardia e APAT e dal Ministero dell'Ambiente.

## References

- Balmford A., Bruner A., Cooper P., Costanza R., Farber S., Green R.E. *et al.* (2002). Ecology - Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, **297**, 950-953.
- Barnett T.P., Adam J.C. e Lettenmaier D. P. (2005) Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, **438**, 303-309.
- Costanza R., d'Arge R., deGroot R., Farber S., Grasso M., Hannon B. *et al.* (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260
- EEA Report (2004) *Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment*. N 2/2004, Copenhagen.
- EPA (2004) *U.S. Climate Action Report 2002*, Washington.
- European Commission (2005) *Winning the battle against global climate change*. Bruxelles.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford G., Boan G., Carpenter S.R. *et al.* (2005) Global consequences of land use. *Science*, **309**, 570-574.
- Gordon C., Cooper C., Senior C.A., Banks H., Gregory J.M., Johns T.C. *et al.* (2000) The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, **16**(2-3), 147-168.
- Grabherr G., Gottfried M., Pauli H. (1994) Climate effects on mountain plants. *Nature*, **369**, 448.
- Harvell C.D., Mitchell C.E., Ward J.R., Altizer S., Dobson A.P., Ostfeld R.S. e Samuel M.D. (2002) Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, **296**, 2158-2162.
- Huntley B. e Baxter R. (2003) *Insights on Synergies: Models and Methods*, in *Climate change and biodiversity: Synergistic impacts*. eds. Hannah L. e Lovejoy T.E., Advances in Applied Biodiversity Science 4, [www.conservation.org](http://www.conservation.org).
- Kling G.W., Hayhoe K., Johnson L.B., Magnuson J.J., Polasky S., Robinson J.K. *et al.* (2003) *Confronting Climate Change in the Great Lakes Region: Impacts on Our Communities and Ecosystems*, eds. Union of Concerned Scientists, Cambridge, Massachusetts e Ecological Society of America, Washington, D.C.
- IPCC (2000) *Emissions Scenarios – 2000*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2001) *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Milly P.C., Wetherald R.T., Dunne K.A. e Delworth, T.L. (2002). Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, **415**, 514-7.
- Munich Re (2000) *Topics-annual Review of Natural Disasters 1999*, Munich Reinsurance Group, Munich, Germany.
- Parnesan C. e Yohe G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, **421**, 37-42.
- Parnesan C., Ryrholm N., Stefanescu C., Hill J.K., Thomas C.D., Descimon H. *et al.* (1999) Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, **399**, 579-583
- Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T. e Foley J.A. (2005) Impact of regional climate change on human health. *Nature*, **438**, 310-317.
- Reichstein M., Falge E., Baldocchi D., Papale D., Aubinet M., Berbigier P. *et al.* (2005) On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology*, **11**, 1424-1439.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C. e Pounds J.A. (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, **421**, 57-60.
- Schneider S.H. (2002) Can we estimate the likelihood of climatic changes at 2100? *Climatic Change*, **52**, 441-451.
- Schröter D., Cramer W., Leemans R., Prentice I.C., Araujo M.B., Arnell N.W. *et al.* (2005) Ecosystem service supply and vulnerability to global climate change in Europe. *Science*, **310**, 1333-1337.
- Walther G.R. (2003) Plants in a warmer world. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **6**(3), 169-185.
- Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C. *et al.* (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature*, **416**, 389-395.